

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 3月17日
Date of Application:

出願番号 特願2003-072363
Application Number:

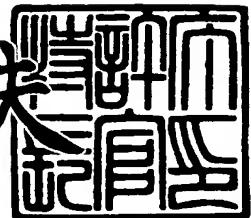
[ST. 10/C] : [JP2003-072363]

出願人 セイコーエプソン株式会社
Applicant(s):

2004年 2月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3011098

【書類名】 特許願
【整理番号】 J0094864
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H03B 5/32
H03H 9/00
G01F 23/20

【発明者】

【住所又は居所】 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーホームズ株式会社内

【氏名】 小林 祥宏

【特許出願人】

【識別番号】 000002369

【氏名又は名称】 セイコーホームズ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100095728

【弁理士】

【氏名又は名称】 上柳 雅裕

【連絡先】 0266-52-3528

【選任した代理人】

【識別番号】 100107076

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤綱 英吉

【選任した代理人】

【識別番号】 100107261

【弁理士】

【氏名又は名称】 須澤 修

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013044

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0109826

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発振回路およびその調整方法並びにそれを用いた質量測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 インピーダンスのバッファを兼ねた複数の増幅器と、これらの増幅器の間に接続され、発振ループの位相を調整可能な第1移相回路と、

入力側が前記第1移相回路の出力側を接続した前記増幅器の出力端子に接続され、出力側が前記第1移相回路の入力側を接続した前記増幅器の入力端子に接続されて帰還回路を構成し、発振ループの位相と利得とを調整可能な第2移相回路と、

この第2の位相回路と前記増幅器との間に設けた圧電振動子と、を有することを特徴とする発振回路。

【請求項2】 請求項1に記載の発振回路において、前記第2移相回路は、圧電振動子の発振周波数において共振するタンク回路を有することを特徴とする発振回路。

【請求項3】 請求項1または2に記載の発振回路において、前記第1移相回路と前記第2移相回路との少なくとも一方は、外部からの制御電圧に基づいて、前記発振ループの位相を調整可能な電圧制御移相回路からなることを特徴とする発振回路。

【請求項4】 請求項1ないし3のいずれかに記載の発振回路において、前記増幅器は、反転入力端子と非反転入力端子および反転出力端子と非反転出力端子とを有する差動増幅器であることを特徴とする発振回路。

【請求項5】 請求項4に記載の発振回路において、前記差動増幅器は、エミッタ結合論理回路であることを特徴とする発振回路。

【請求項6】 請求項1ないし5のいずれかに記載の発振回路において、前記圧電振動子は、ATカット水晶振動子、逆メサ型ATカット水晶振動子またはSAW振動子のいずれかであることを特徴とする発振回路。

【請求項7】 請求項1ないし6のいずれかに記載の発振回路の調整方法で

あって、

前記発振回路の回路特性を測定し、前記圧電振動子を気相中と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振回路の発振周波数における発振ループの利得と位相とを求める利得・位相演算工程と、

前記発振回路の前記第1移相回路の回路定数を変更し、前記圧電振動子を気相と液相中とに配置したときのそれぞれについて、主振動の周波数近傍でないより高い周波数範囲で位相が0で利得が1以下となるように位相条件を調整する第1位相調整工程と、

前記発振回路の前記第2移相回路の回路定数を変更し、前記圧電振動子を気相と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振周波数の近傍であって、位相が大きく変化する周波数の範囲内において、前記発振回路の位相をほぼ0度に調整する第2位相調整工程と、

前記発振回路の前記第2移相回路の回路定数を変更し、前記圧電振動子を気相と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振回路の発振ループの利得を1以上に調整する利得調整工程と、

を有することを特徴とする発振回路の調整方法。

【請求項8】 請求項7に記載の発振回路の調整方法において、

前記利得調整工程は、負性抵抗を前記圧電振動子のインピーダンスの3倍以上とすることを特徴とする発振回路の調整方法。

【請求項9】 請求項7または8に記載の発振回路の調整方法において、

前記各工程は、前記発振回路をオープンループにして行なうことを特徴とする発振回路の調整方法。

【請求項10】 請求項1ないし6のいずれかに記載の発振回路を有することを特徴とする質量測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、圧電振動子用の発振回路に係り、特に液体中に浸漬される圧電振動子を発振させるのに好適な発振回路およびその調整方法並びにそれを用いた質量

測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、圧電振動子である水晶振動子を用いた微量天秤と呼ばれる水晶振動子微量天秤 (Quartz Crystal Microbalance: QCM) が注目されている。このQCMは、水晶振動子の電極に物質が付着すると、水晶振動子の厚さが厚くなつた場合と同様に、発振周波数が低下することを利用している。そして、QCMは、ナノグラム (ng) 以下の質量を検出することが可能であるところから、バイオセンサや化学センサなどとして医学や生化学、食品や環境測定などの広い分野において微量物質の検出に応用されてきている。

【0003】

ところで、水晶振動子を質量測定装置として使用する場合、水晶振動子を液体中に浸漬して使用することがある。ところが、空气中と液体中とでは、水晶振動子の実効的なクリスタルインピーダンス (CI) が大きく変化し、液体中における共振インピーダンスが空气中より10～30倍程度大きくなる。このため、QCMは、水晶振動子が空气中において発振（共振）するように発振回路を調整しても、液体中において水晶振動子を発振させることが困難となる。そこで、従来は、発振回路の増幅度を上げることにより、水晶振動子を液体中でも発振できるようにしていた（例えば、特許文献1）。また、高速CMOSからなるインバータを用いて基本周波数の異なる複数の水晶振動子を同じ回路によって発振させる発振回路が提案されている（特許文献2）。ただし、特許文献2では、気相中の動作しか示唆していない。

【0004】

【特許文献1】 特開平11-163633号公報（段落番号0004、図1）

【特許文献2】 特開2001-289765号公報（段落番号0015）

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

発振回路は、発振ループを形成する帰還回路であるため、発振ループの発振条件が満足されると、振動子を経由しないで、或いは経由しても振動子の共振周波数でない周波数で発振することがある。このため、特許文献1のように増幅度を大きくすると、このような不要な発振がおきやすくなる問題がある。また、発振回路は、実際の回路に組み込まれた場合、種々の回路に電気的に接続される。このため、発振回路の増幅度を大きくすると、振動子を備えていない種々の回路において発振を生ずる可能性があり、増幅度のみを増大させるだけでは安定した発振を得ることが難しい。

【0006】

ところで、前記したように、水晶振動子は、空気（気体）中と液体中とではC/I値が大きく変化し、液体中における位相の変化が小さくなる。すなわち、図19に示したように、例えば発振周波数が空気中において148.25MHzである水晶振動子は、その周波数における空気中のインピーダンスが約20Ωとなるが、液体中においては約300Ωを示す。また、図20に示したように、水晶振動子は、共振周波数である148.25MHz近傍における位相が約-90度から+90度に変化する。ところが、液体中においては位相の変化が非常に小さくなる。このため、特許文献2に記載の発振回路においては、同一の回路で基本周波数の異なる水晶振動子を発振させるようにしているが、液体中で発振するとは限らない。すなわち、特許文献2に記載されている発振回路は、增幅器がインバータによって構成してあり、增幅器の出力側における位相が常に入力側と180度異なるようにしてある。このため、液体中においては、水晶振動子を設けた帰還回路によって増幅器の出力信号を、増幅器の入力側に同位相（0度）にして帰還させることができない。

【0007】

本発明は、前記従来技術の欠点を解消するためになされたもので、気体中と液体中とで確実に発振できるようにすることを目的としている。

また、本発明は、寄生発振やスプリアス発振、帰還発振などの不要な発振を確実に防止できるようにすることを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】

発振回路は、図21に示したように増幅回路と帰還回路とからなっている。発振回路の発振条件は、増幅回路の利得（ゲイン）をA、帰還回路の帰還率を β とすると、

【数1】

$$Re(A\beta) \geq 1 \quad (\text{電力条件})$$

【数2】

$$Im(A\beta) = 0 \quad (\text{周波数条件})$$

である。ここに、 $Re(A\beta)$ 、 $Im(A\beta)$ は、複素量 $A\beta$ の実数部と虚数部である。

【0009】

上記したように、従来は、圧電振動子をバイオセンサなどの質量測定装置として使用する場合、液体中における発振を可能とするために、電力条件である増幅度を上げることで対応してきた。しかし、発振回路は、周波数条件で示されるよう、発振ループの位相を0度とすることも安定して発振させるために重要である。そこで、発明者は、この点に注目し、増幅回路と帰還回路とに位相回路を設け、増幅回路中の位相回路によってループ全体の位相を調整することにより、帰還回路（帰還ループ）のゲインに対する影響を最小にするように発振条件の1つである位相条件を成立させるようにした。

【0010】

すなわち、本発明に係る発振回路は、インピーダンスのバッファを兼ねた複数の増幅器と、これらの増幅器の間に接続され、発振ループの位相を調整可能な第1移相回路と、入力側が前記第1移相回路の出力側を接続した前記増幅器の出力端子に接続され、出力側が前記第1移相回路の入力側を接続した前記増幅器の入力端子に接続されて帰還回路を構成し、発振ループの位相と利得とを調整可能な第2移相回路と、この第2の位相回路と前記増幅器との間に設けた圧電振動子と、を有することを特徴としている。

【0011】

このようになっている本発明は、空気などの気体中と液体中とにおける発振の位相条件と発振ループの利得条件とを両立させるため、第1移相回路によって発振ループ全体の位相シフト量を適当な値に調整する。また、発振ループ利得が得られ、かつ安定した発振のための位相条件が得られるように、帰還回路に設けた第2移相回路のリアクタンスを調整する。そして、第1移相回路は、インピーダンス変換によるバッファ機能を有する増幅器によって第2移相回路とインピーダンス的に分離されているため、帰還回路の利得特性にほとんど影響なく閉ループ全体の位相を調整できる。これによって、圧電振動子を空气中と液体中において容易、確実に安定して発振させることができるように、発振回路の位相条件と利得条件とを満たすことができる。

【0012】

移相回路は、振動子の発振周波数において共振するタンク回路を有することができる。これにより、発振ループの増幅度を高めたとしても、寄生発振やスプリアス発振、帰還発振などの不要な発振を防ぐことができる。すなわち、タンク回路は、入力する周波数が共振周波数の場合、閉ループ側から見たインピーダンスが急速に増加し、入力する周波数が共振周波数からはずれるとインピーダンス低下する。このため、タンク回路の共振周波数を圧電振動子の発振周波数と一致させることにより、圧電振動子の発振周波数以外の周波数における閉ループの増幅度が低下し、寄生発振、スプリアス発振、帰還発振などの不要な発振を避けることができる。

【0013】

第1移相回路と第2移相回路との少なくとも一方は、外部からの制御電圧に基づいて、発振ループの位相を調整可能な電圧制御移相回路によって構成できる。液体中における圧電振動子のインピーダンス特性は、液体の状態、圧電振動子に対する液体の濡れ性、圧電振動子表面への液体の接触具合などによって変化する。そこで、移相回路を電圧制御移相回路とすることにより、発振回路を微調整することができ、発振回路の液中における動作を安定させることができる。

【0014】

また、増幅器は、反転入力端子と非反転入力端子および反転出力端子と非反転出力端子とを有する差動増幅器であってよい。この差動増幅器は、エミッタ結合論理回路を用いることができる。そして、圧電振動子は、ATカット水晶振動子、逆メサ型ATカット水晶振動子またはSAW (Surface Acoustic Wave) 振動子のいずれかであってよい。

【0015】

そして、本発明に係る上記発振回路の調整方法は、前記発振回路の回路特性を測定し、前記圧電振動子を気相中と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振回路の発振周波数における発振ループの利得と位相とを求める利得・位相演算工程と、前記発振回路の前記第1移相回路の回路定数を変更し、前記圧電振動子を気相と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振周波数近傍であって、発振ループ位相をほぼ0にする位相調整の粗調をおこなう第1位相調整工程と、前記発振回路の前記第2移相回路の回路定数を変更し、前記圧電振動子を気相と液相中とに配置したときのそれぞれについて、前記発振周波数の近傍であって、発振ループ位相を振動子の共振周波数近傍で0にする位相調整工程と、且つ、発振ループの利得を1以上に調整する利得調整工程が両立するよう調整される調整工程と、を有することを特徴としている。

【0016】

利得調整工程は、負性抵抗を圧電振動子のインピーダンスの3倍以上とすることが望ましい。これにより、圧電振動子を確実に発振させることができる。また、発振回路を調整する各工程は、発振回路をオープンループにして行なうとよい。これにより、発振回路の調整を容易に行なうことができる。

【0017】

そして、本発明に係る質量測定装置は、上記の発振回路を有することを特徴としている。これにより、上記した気体中と液体中との両方で安定して発振する質量測定装置を得ることができ、信頼性の高いQCMなどを形成することができる。

【0018】

【発明の実施の形態】

本発明に係る発振回路およびその調整方法並びにそれを用いた質量測定装置の好ましい実施の形態を、添付図面に従って詳細に説明する。

図1は、第1実施形態に係る圧電振動子用発振回路のブロック図である。図1において、発振回路10は、増幅回路20と帰還回路30とを有する。増幅回路20は、インピーダンスのバッファを兼ねた複数（実施形態の場合2つ）の増幅器22、24と、第1移相回路26とから構成してある。第1移相回路26は、増幅器22、24の間に配置され、入力側が増幅器22の出力端子に接続してあり、出力側が増幅器24の入力端子に接続してある。

【0019】

また、帰還回路30は、第2移相回路32と、この第2移相回路の入力側に接続した圧電振動子34とから構成してある。第2移相回路32は、入力側が圧電振動子34を介して増幅器24の出力端子に接続してあり、出力側が増幅器22の入力端子に接続してある。従って、発振回路10は、増幅回路20と帰還回路30とによって閉ループを形成している。そして、増幅回路20の第1移相回路26の出力側には、出力用バッファ12が増幅器24と並列に接続してある。なお、圧電振動子34は、第2移相回路32の出力側に接続してもよい。また、第2移相回路32を複数の位相回路素子によって構成し、その中に圧電振動子34を設置してもよい。そして、出力用バッファ12は、増幅回路20の出力側、すなわち増幅器24の出力端子に接続してもよい。

【0020】

第1移相回路26および第2移相回路32は、容量素子や誘導素子、抵抗などの素子単体によって構成してもよいし、またこれらを組み合わせた共振回路やフィルタ回路、積分回路や微分回路などによって構成することができる。すなわち、各移相回路26、32は、例えば図2（1）～（3）に示した位相を進める進相回路や、図3（1）～（3）に示した位相を遅らせる遅相回路として構成することができる。さらに、各移相回路26、32は、図4（1）に示した直列共振回路や、同図（2）に示した並列共振回路であってもよい。また、移相回路26、32は、可変容量ダイオード、サーミスタ、増幅器、ストリップ線路、分布定数素子などによって構成することができる。さらに、位相回路26、32は、図

5に示したように、可変容量ダイオード40を用いた電圧制御型のリアクタンス制御回路であってもよい。

【0021】

図22は、第1移相回路26の構成例を具体的に示したものである。図22(1)に示した位相回路26は、直列に接続した3つの増幅器200によって構成してある。ただし、第1移相回路26を構成する増幅器200は、1つでも2つでも4つ以上であってもよい。また、同図(2)は、第1移相回路26を遅延素子によって構成した例を示したものである。そして、同図(3)は、第1移相回路26を線路によって構成した例を示したものである。なお、図22に示したこれらの第1移相回路26の構成要素は、第2移相回路32を構成する場合にももちろん使用することができる。

【0022】

インピーダンスのバッファを兼ねた増幅器22、24は、トランジスタを用いた増幅回路、演算増幅器(オペアンプ)、差動増幅器、エミッタ結合論理回路(Emitter Coupled Logic: ECL)、ポジティブECL(PECL)等によって構成できる。そして、圧電振動子34としては、水晶振動子やLBO(Li₂B₄O₇:四ホウ素酸リチウム)振動子であってよい。また、圧電振動子34は、ATカット振動子、BTカット振動子、GTカット振動子、SCカット振動子、水晶フィルタやSAW振動子、SAWフィルタであってよい。

【0023】

このように構成した第1実施形態の発振回路10においては、圧電振動子34の空气中と液体中との両方における発振条件が成り立つように、ループ位相とループ利得とを別々に調整することができる。これにより、第1実施形態の発振回路10は、空气中(気体中)と液体中とにおいて、圧電振動子34を確実に発振させることができる。また、様々な液体の特性に対しても安定した発振を得ることができる。従って、発振回路10を用いることにより、化学センサ、バイオセンサ、QCMなどの信頼性の高い質量測定装置を容易に形成することができる。

【0024】

図6は、第2実施形態に係る圧電振動子用発振回路のブロック図である。図6

において、発振回路50は、増幅回路20と帰還回路を構成している第2移相回路52とによって閉ループが形成されている。第2移相回路52は、移相回路部54と圧電振動子34とタンク回路56とを有している。ただし、圧電振動子34は、第2移相回路52の入力側に配置してもよい。

【0025】

移相回路部54は、前記した第1移相回路26、第2移相回路32と同様に構成することができる。そして、移相回路部54の入力側は、増幅回路20を構成している増幅器24の出力端子に接続してある。また、移相回路部54の出力側には、圧電振動子34の一方の電極が接続してある。圧電振動子34の他方の電極は、増幅回路20を構成している増幅器22の入力端子に接続してある。そして、タンク回路56は、容量素子と誘導素子との並列共振回路からなっており、一端が圧電振動子34と増幅器22の入力端子との間に接続してある。タンク回路56の他端は、コンデンサ58を介して接地してある。このタンク回路56は、予め定めた周波数、すなわち圧電振動子34の発振周波数で共振するように調整してある。コンデンサ58は、タンク回路56を直流通して浮かせて接地するものである。

【0026】

図23は、第2実施形態において、第1移相回路26と第2移相回路52の位相回路部54とを、電圧制御移相回路によって構成したもので、電圧制御型のリアクタンス制御回路を有する。これにより、圧電振動子34を液体中に浸漬したときに、液体の種類によらず安定して発振させることができる。すなわち、液体中における圧電振動子のインピーダンス特性は、液体の状態、圧電振動子に対する液体の濡れ性、圧電振動子表面への液体の接触具合などによって変化する。そこで、位相回路を図23のように電圧制御型のリアクタンス制御回路を設けることにより、発振回路50の回路定数を微調整することができる。このため、発振回路50の液中における動作を安定させることができ、圧電振動子34を確実に、安定して発振させることができる。なお、第1実施形態の第1移相回路26と第2移相回路32とを、電圧制御型のリアクタンス制御回路を有するように構成してもよいことはもちろんである。

【0027】

図7は、第2実施形態に係る発振回路50の具体的例を示したものである。図7において、增幅回路20を構成している第1移相回路26と、第2移相回路52を構成している移相回路部54とは、可変容量ダイオードを用いた電圧制御型のリアクタンス制御回路および移相回路素子のコイルと直流カット用のコンデンサによって構成してある。なお、この具体例においては、出力用バッファ12が增幅回路20の出力端子となる増幅器24の出力端子に接続してある。

【0028】

増幅回路20の第1移相回路26は、可変容量ダイオード60と、直流成分をカットする2つのカッピングコンデンサ62、64と、移相素子であるコイル66と、2つの抵抗68、70とからなっている。すなわち、第1移相回路26は、可変容量ダイオード60のアノードがカッピングコンデンサ62を介して増幅器22の出力端子に接続してあるとともに、抵抗68を介して接地してある。また、可変容量ダイオード60のカソードは、抵抗70を介して外部から入力される制御電圧の入力端子に接続されるとともに、コイル66の一端が接続してある。このコイル66の他端は、カッピングコンデンサ64を介して増幅器24の入力端子に接続してある。そして、可変容量ダイオード60と2つの抵抗68、70が電圧制御型のリアクタンス制御回路を構成している。

【0029】

一方、第2移相回路52の移相回路部54は、可変容量ダイオード74と、直流成分をカットする2つのカッピングコンデンサ76、78と、移相素子であるコイル80と、2つの抵抗82、84とを有する。可変容量ダイオード74は、カソードがカッピングコンデンサ78の一端に接続してあるとともに、抵抗84を介して外部から入力される制御電圧の入力端子に接続される。そして、カッピングコンデンサ78の他端は、増幅器24の出力端子に接続してある。また、可変容量ダイオード74のアノードは、カッピングコンデンサ76の一端に接続してあるとともに、抵抗82を介して接地してある。カッピングコンデンサ76の他端は、コイル80の一端に接続してある。このコイル80の他端は、圧電振動子34の一方の電極に接続してある。そして、可変容量ダイオード7

4と2つの抵抗82、84とが電圧制御型のリアクタンス制御回路を構成している。

【0030】

圧電振動子34の他方の電極は、カップリングコンデンサ86を介して増幅器22の入力端子に接続してある。さらに、増幅器22の入力端子とカップリングコンデンサ86との間には、タンク回路56が接続してある。タンク回路56は、タンク回路56のQ値を調整するための抵抗88と、コンデンサ90と、コイル92とを並列接続した並列共振回路となっている。なお、実施形態の場合、タンク回路56は、不要な発振の発生を防止するため、共振周波数の範囲がより狭くなるようにコイル92のインダクタンスを小さく、コンデンサ90の容量を大きく設定している。

【0031】

ところで、圧電振動子は、前記したように、空气中と液体中とではインピーダンスが大きく変化する。このため、圧電振動子34を空气中において発振するように発振回路50を調整したのち、圧電振動子34を液体中に浸漬すると、インピーダンスが増大するのと同時に、圧電振動子34の位相があまり変化せず、発振させることができない。そこで、圧電振動子34が液体中でも発振するように、帰還回路（帰還ループ）の位相を変化させると、図8のようになる。

【0032】

すなわち、例えば第2移相回路52の移相回路部54を構成しているコイル80のインダクタンスを調整し、帰還回路の位相の変化（遅れ）を大きくすると、位相の変化が曲線Aから曲線Eのように大きくなるにつれて、位相の変化する周波数の幅が広がる。このため、圧電振動子34の発振（共振）周波数から離れた周波数において発振するようになる。従って、圧電振動子34の機械共振である直列共振アームに流れる電流が小さくなり、発振している周波数の安定性が悪化し、発振が不安定となる。すなわち、微少な質量を測定する装置に使用した場合に、測定値に対するS/Nが悪くなり、測定精度が低下する。

【0033】

また、帰還回路の位相の変化量を大きくすると、図9に示したように、帰還回

路の利得が位相の変化量に応じて変化する。すなわち、移相回路部54によって帰還回路の位相の変化量を大きくすると、帰還回路のインピーダンスも変化するために、帰還回路の利得も大きくなる。このため、不要な発振が生じやすくなつて好ましくない。すなわち、位相の変化を大きくするために位相調整用コイルを用いると、圧電振動子34の電極間容量C₀と位相調整用コイルとによる直列共振を起こす周波数が発生する。そして、この周波数における利得が、発振回路全体の利得が大きくなることによって1より大きくなる場合がある。この場合、機械振動でない位相調整用コイルと電極間容量C₀と直列共振は、Q値が低く、発振の開始時間が短いため、Q値が高い圧電振動子34の発振より早く発振を開始する場合がある。また、位相の変化を大きくするためにインダクタンスの大きな位相調整用コイルを使用すると、このコイルと電極間容量C₀と直列共振周波数が低くなつて圧電振動子34の発振周波数に近くなる。従つて、位相調整用コイルと電極間容量C₀との直列共振回路の利得が得やすくなり、圧電振動子34が発振する前に位相調整用コイルと電極間容量C₀とによる直列共振が発生する。なお、図8に示した位相の変化は、比較を容易にするために、共振周波数からある程度離れた周波数における位相を0度として合せている。

【0034】

そこで、実施形態の発振回路50は、インピーダンスのバッファを兼ねた増幅器22、24によって、第2移相回路52とインピーダンス的に分離させた第1移相回路26により、発振回路50のループ全体の位相を調整するようにしている（第1実施形態の発振回路10も同様である）。すなわち、帰還回路に設けた第2移相回路によって圧電振動子34が、気中と液中とで発振できるように位相を調整するには限界がある。そこで、別の移相回路、すなわち増幅回路20に設けた第1移相回路26により、全体の移相条件を適当な周波数のところに移動させる。そして、第2移相回路52の移相回路部54によって所定の発振周波数における利得が得られ、また位相を0度に調整する。これにより、測定装置に使用した場合にS/Nのよい装置を得ることができる。また、不要な発振の発生を防ぐことができる。

【0035】

図10は、第1移相回路26による、発振回路50のループ全体の位相変化を示している。同図に示されているように、第1移相回路26のリアクタンスを調整して位相の変化量を大きくしても、位相の変化する周波数の幅が広がることがない。従って、第1移相回路26によって位相を変化させたとしても、圧電振動子34の発振周波数から離れた周波数における発振を生ずることがなく、発振している周波数の安定化を図りつつ、発振回路50の発振の位相条件を満たすことができる。そして、第1移相回路26によって位相を変化させた場合、帰還ループの利得には変化を生じないようにできる。このため、第1移相回路26によって発振ループ全体の位相条件を適当な周波数のところに移動させることができる。これにより、第2移相回路52によって、空气中と液体中とにおいて発振の位相条件の調整を容易に行なうことが可能となる。従って、空气中と液体中とで圧電振動子34を安定して発振させることができる。

【0036】

また、第2実施形態の発振回路50においては、第2移相回路52にタンク回路56を設けたことにより、圧電振動子34の電極間容量 C_0 とコイルとの直列共振を防止できるだけでなく、寄生発振や圧電振動子34のスプリアス発振、回路上の帰還発振などの望ましくない不要な発振を防止することができる。すなわち、增幅回路20と第2移相回路52とからなる閉ループの利得は、タンク回路56によって図11のように変化する。このとき、発振回路50のループ側からタンク回路56を見た場合、タンク回路56が共振周波数で共振すると、タンク回路56のインピーダンスは無限大となる。このため、閉ループのタンク回路56による利得の損失は0である。しかし、タンク回路56に入力する交流信号が共振状態からはずれると、閉ループ側から見たタンク回路56のインピーダンスが急激に低下し、共振周波数からはずれた交流信号（電流）がコンデンサ58を介して接地側に流れ、閉ループの利得が低下する。従って、タンク回路56の共振周波数を圧電振動子34の発振周波数と一致させることにより、発振周波数以外の周波数における閉ループの利得が低下し、不要な発振を抑制することができる。

【0037】

図12は、発振回路50によって圧電振動子34を空气中と液体中とで発振させるための調整方法を示すフローチャートである。なお、図12のフローチャートは、発振回路50の定数設定がすでに一旦行なわれていることを前提としている。また、図12は、最初に空气中で調整したのち、圧電振動子34を液体中に浸漬した状態で調整して、両方において確実に発振するように調整する手順を示したものである。

【0038】

まず、発振回路50の閉ループの一部を開放してオープンループにする。例えば、発振回路50のタンク回路56と增幅回路20との間を切り離してオープンループにし、この切り離した部分にネットワークアナライザなどの測定器を接続する。そして、測定器によってオープンループの回路特性を測定し、オープンループの利得、位相を算出する（ステップ100）。すなわち、オープンループの状態で圧電振動子34を気中と液中とで発振させ、それぞれの発振周波数を測定する。そして、発振させたい所望の周波数近傍における利得の変化と位相の変化とを求める利得・位相演算工程を行なう。このオープンループにおける利得と位相の算出は、閉ループとしたときの位相に合わせるため、オープンループと閉ループとにおけるインピーダンスの相違を考慮して補正を行なう。

【0039】

図13は、発振回路をオープンループにして位相の変化を測定した一例を示したものである。この図において、位相変化の曲線が0度と交差する周波数において圧電振動子が発振する可能性がある。そこで、次に、ステップ102に示したように、位相条件1を満足するか否かを判断する。この位相条件1は、圧電振動子34の共振（発振）周波数（主振動）近傍であって、圧電振動子34を気中と液中と発振させたときのそれれにおいて、主振動の周波数近傍でないより高い周波数範囲で位相が0で利得が1以下となるように位相条件を調整する。位相条件1を満足していない場合、ステップ104に進んで第1移相調整工程を行なう。この第1移相調整工程は、第1移相回路26による位相量の算出を行ない、閉ループにしたときに位相条件1を満たすように、発振回路のオープンループの状態で第1移相回路26の回路定数を変更する。例えば、図7に示したコイル66

のインダクタンスを変える。これにより、図13の矢印115に示したように、位相の変化を示す曲線が図13の上下方向に移動し、所望の周波数における位相を調整することが可能となる。そして、ステップ100に戻って再びオープンループの回路特性を測定し、位相条件1が満たされたか否かの判断を行なう（ステップ102）。

【0040】

位相条件1が満たされている場合、ステップ102からステップ106に進んで位相条件2が満たされているか否かを判断する。この位相条件2は、圧電振動子34を気中と液中と発振させたときのそれぞれにおいて、圧電振動子34の共振周波数近傍の位相が大きく変化する周波数範囲において、所望する周波数で位相がほぼ0度になっていることである。この位相条件2を満足していない場合、第2移相調整工程を行なう。すなわち、第2移相回路52の位相量を算出し、閉ループのときに移相条件2を満足するように、発振回路をオープンループにした状態で第2移相回路52の回路定数を変更する（ステップ108）。すなわち、例えば図7に示した移相回路部54のコイル80のインダクタンスを変える。そして、ステップ100に戻り、ステップ100～ステップ106の処理を行なう。

【0041】

ステップ106において位相条件2を満足したならば、利得条件2を満足するか否かを判断する（ステップ110）。利得条件2は、位相条件1と位相条件2とを満足した状態において、閉ループの利得が1以上となっていることである。そして、ステップ110において利得条件2が満足されていない場合、利得調整工程であるステップ108の処理を行なったのち、ステップ100に戻ってステップ100～ステップ110の処理を再度行なう。この利得の調整においては、圧電振動子34の発振の確実性を確保するために、負性抵抗が圧電振動子34のインピーダンスの3倍程度以上となるようにする。ステップ112において利得条件2を満足したならば、ステップ110からステップ112に進んで動作の確認を行なう。すなわち、発振回路50を閉ループにし、実際に空气中と液体中とで発振動作をさせる。これにより、圧電振動子34を空气中と液体中とにおいて

確実に発振させることができる。従って、実施形態の発振回路を用いることにより、信頼性の高い質量測定装置を得ることができる。図24は、このようにして発振回路を調整したときの、気中と液中における発振の状態を示したものである。

【0042】

なお、圧電振動子34は、液体中に浸漬した場合に、液体の種類や状態などによって特性が種々に変化する。そこで、移相回路に電圧調整のリアクタンス制御回路を用いることにより、圧電振動子34を容易に安定して発振させ、発振周波数を安定させることができる。例えば、図25に示したように、可変容量ダイオード60、74のカソードと電圧入力端子との間に設けた抵抗70、84を可変抵抗にする。なお、可変容量ダイオード60、74のカソードを接続した抵抗202、204は、制御電圧 v_{c1} 、 v_{c2} を分割するための抵抗である。そして、例えば発振回路の調整を行なったときの制御電圧 v_{c1} と v_{c2} との値と、可変抵抗70、84の抵抗値とを初期電圧として設定しておく。そして、圧電振動子34を任意の液体に浸漬したときに、液体中の特性変化に対応するように、可変抵抗70、84の抵抗値を設定値を中心として調整する。これにより、任意の液体中の発振動作が安定し、測定装置に使用した場合にS/Nのよい測定装置を得ることができる。

なお、第1移相回路26は、複数の増幅器を直列接続して構成してもよく、遅延素子による時間的なディレイ回路、線路などであってもよい。また、インピーダンスのバッファを兼ねた増幅器は3つ以上でもよい。

【0043】

図14は、第3実施形態に係る発振回路のブロック図であって、第1移相回路26を複数の増幅器によって構成した例を示したものである。この実施形態の発振回路120は、増幅回路20に設けた第1移相回路26が2つの増幅器122、124によって形成してある。これらの増幅器122、124は、増幅器22、24と同様に、トランジスタによる増幅回路、演算増幅器、差動増幅器、ECL、PECL等であってよい。そして、発振回路120は、帰還回路が第2移相回路32と圧電発振子34によって構成してある。第2移相回路32は、入力側

が増幅器24の出力端子に接続してあり、出力側が圧電振動子34を介して増幅器22の入力端子に接続してある。また、圧電振動子34と増幅器22との間には、タンク回路56が接続してある。このタンク回路56は、またコンデンサ58を介して接地してある。

【0044】

このように構成した発振回路120は、第1移相回路26を構成している複数の増幅器122, 124によって閉ループ全体の位相を調整する。そして、この実施形態の発振回路120においても、前記実施形態の発振回路と同様の効果を得ることができる。なお、第1移相回路26を構成する増幅器は、3つ以上であってもよい。

【0045】

図1-5は、第4実施形態に係る発振回路のブロック図である。この実施形態に係る発振回路130は、増幅回路20を構成しているインピーダンスのバッファを兼ねた増幅器132、134が反転入力端子と非反転入力端子、および反転出力端子と非反転出力端子とを有している。さらに、出力用バッファ140が、反転入力端子と非反転入力端子、反転出力端子と非反転出力端子とを有する増幅器によって構成してある。

【0046】

増幅回路20を構成している増幅器132の非反転入力端子には、圧電振動子34の他方の電極と、タンク回路56の一端とが接続してある。また、増幅器132の反転入力端子は、コンデンサ136を介して接地してあるとともに、タンク回路56の他端が接続してある。第1移相回路26の入力側は、増幅器132の非反転出力端子と反転出力端子とのそれぞれに接続してある。また、第1移相回路26の出力側は、増幅器134の非反転入端子と反転入端子、および出力用バッファ140の非反転入端子と反転入端子とに接続してある。そして、増幅器134の非反転出力端子は、第2移相回路32の入力側に接続してある。発振回路130の出力は、出力用バッファ140の非反転出力端子から取り出される。

【0047】

図16は、第4実施形態に係る発振回路130の具体的例を示したものである。この具体例においては、帰還回路を構成している第2移相回路32が、図7に示した第2実施形態の第2移相回路32の移相回路部54と同様に構成してある。また、タンク回路56は、抵抗88とコンデンサ90とコイル92との並列回路によって構成している。そして、增幅回路20を構成している第1移相回路26は、前記と同様に容量素子、誘導素子、可変容量ダイオード、遅延素子、演算增幅器、差動増幅器などによって構成することができる。また、差動増幅器は、ECLまたはPECLであってもよい。

【0048】

図17は、上記の各実施形態のいずれかに係る発振回路を備えた質量測定装置の断面図である。この質量測定装置150は、発振回路を収納したケース152を有する。ケース152は、箱状のケース本体154とカバー156とからなっている。カバー156は、平板から形成してあって、接着剤158によってケース本体154の開口部に水密に固着してあり、試料液体がケース内に浸入しないようにしてある。また、カバー156には、圧電振動子である圧電振動片160を露出させる窓162が形成してある。

【0049】

圧電振動片160は、実施形態の場合、ATカット圧電振動板をいわゆる逆メサ型に加工して例えば150MHz程度の高周波発振ができるようにしてある。そして、圧電振動片160は、逆メサ部の両面に励振電極164（164a、164b）を有している。一方の励振電極164aには、試料液体中の検出対象物質を付着させるための図示しない感応膜が設けてある。カバー156の窓162は、励振電極164aに設けた感応膜を露出させ、試料液体に接触させる。そして、圧電振動片160は、カバー156の内側面における窓162の周囲に導電性接着剤166によって固着してある。

【0050】

圧電振動片160は、各励振電極164と一体に形成した接続電極168（168a、168b）を有する。一方、カバー156の内側面には、導電性材料により形成した回路パターン部170が設けてあるとともに、接着剤172によっ

てICチップ174が固着してある。このICチップ174は、前記した発振回路（例えば、図7に示した発振回路50）の増幅器22、24や出力用バッファ24などを集積回路化したものである。そして、圧電振動片160の一方の接続電極168aは、回路パターン部170に導電性接着剤166を介して電気的に接続してある。この回路パターン部170には、配線パターンが形成してあるとともに、本図に図示しない第1移相回路26のコイル66や、第2移相回路52を構成している移相回路部54のコイル80などが配設してある。回路パターン部170は、金などからなる複数のワイヤ176によってICチップ174に電気的に接続してある。また、ICチップ174には、圧電振動片160の他方の接続電極168bがワイヤ176によって電気的に接続してある。さらに、ケース本体154は、側面に貫通孔178を有し、この貫通孔178にケーブル180が接続してある。ケーブル180は、電源線や信号出力線などが一体化されており、これらの線の先端がICチップ174に接続してある。

【0051】

このようになっている質量測定装置150は、図18に示したように、ケーブル180の信号出力線が周波数カウンタ190に接続される。この周波数カウンタ190は、出力側がコンピュータ192に接続してあり、計数した質量測定装置150の発振周波数をコンピュータ192に入力する。そして、質量測定装置150は、試料容器194に貯留してある試料液体196に浸漬される。試料液体196中の検出対象物質は、圧電振動片160の励振電極164aに設けた感応膜に結合する。コンピュータ192は、周波数カウンタ190の出力する検出対象物質が結合した際ににおける圧電振動片160の発振周波数を、基準の発振周波数（検出対象物が結合する前の発振周波数）と比較し、予め与えられたアルゴリズムに従って感応膜（励振電極164a）に結合した物質の質量や濃度などを演算して求める。なお、発振回路は、圧電振動片160のみをケース152の内部に収納するようにしてもよい。このようにすると、ケース152を小さくすることができ、より微小な部分への配置や挿入が可能となる。

【0052】

なお、質量測定装置150による液中測定の具体的方法は、次のようにして行

なう。まず、試料容器194に検出対象物質を含まない液体（溶媒や溶液）を貯留し、その液体に質量測定装置150を浸漬する。そして、液体中において圧電振動子160の共振が安定するのを待つ。共振が安定したら、この共振周波数をコンピュータ192に基準周波数として記憶させる。その後、検出対象物質を含む試料（液体）を試料容器194中の液体に所定量添加して拡散させ、添加した試料中の検出対象物質を圧電振動片160の感応膜22に結合させる。

【0053】

なお、次のように測定してもよい。まず、試料容器194を2つ用意しておき、一方には検出対象物を含まない液体（例えば、水またはアルコール）のみを入れ、他方には水またはアルコールに検出対象物を溶解または分散させた試料を入れる。そして、一方の容器において圧電振動片160の液中における基準周波数（発振周波数）を求める。その後、質量測定装置150を他方の容器の試料中に浸漬して検出対象物の測定を行なう。このようにすることにより、検出対象物の濃度などをより正確、簡易に求めることができる。

【0054】

また、感応膜22に予め検出対象物質を付着または反応させた質量測定装置150を水またはアルコールなどの液体に浸漬する。その後、検出対象物質を脱着または分解させる薬品を液体に添加し、検出対象物質を感応膜から除去する。これにより、感応膜と結合していた物質の量などを測定することができる。

【0055】

なお、前記各実施形態の発振回路は、例えば圧電振動子が小型化されるのに伴って圧電振動子の電極間容量 C_0 が大きくなり、圧電振動子における位相の変化が小さい場合にも適用することができる。

また、上記した各実施形態に係る発振回路を、液体中の特定物質を検出する質量測定装置150に適用した場合について説明したが、本発明に係る発振回路は、各種の微少な物理量を測定する測定装置に使用することができる。例えば、においセンサや水分センサ、メッキ膜厚モニタ、イオンセンサ、粘度／密度計などとして使用することも可能である。まず、においセンサとして使用する場合には、におい物質を選択的に吸着する感応膜を励振電極の表面に塗布すればよい。ま

た、水分センサとして使用する場合には吸水膜を塗布すればよい（特開平7-209165号公報参照）。

【0056】

一方、メッキ膜厚モニタとして使用する場合には、メッキ対象物とともに質量測定用圧電振動子をメッキ液中に浸漬する。この場合、励振電極の表面に付着したメッキ膜厚の増加とともに、圧電振動片の共振周波数が低下する。したがって、メッキ対象物のメッキ膜厚を検知することができる。また、イオンセンサとして使用する場合には、感応膜としてイオン吸着物質を塗布すればよい。そして、感応膜にイオンを吸着させて圧電振動片の周波数変化量を測定することにより、検体溶液中のイオンの定量分析を行うことができる。

【0057】

なお、においセンサのように、気中において使用する場合には、圧電振動片160の両面の励振電極164に感応膜を設けることが望ましい。この場合、圧電振動片160の両面を露出させてにおい物質と接触するようとする。これにより、圧電振動片160に結合するにおい物質の量を多くすることができ、検出感度が向上して測定精度を上げることができる。

【0058】

一方、本発明に係る質量測定装置により、質量以外の微少物理量を測定することも可能である。以下に、本発明に係る質量測定装置を、粘度／密度計として使用する場合の測定原理を説明する。ATカット圧電振動子は、その表面に沿って厚み滑り振動する。このATカット圧電振動子を液体中に浸漬して発振させると、液体との間にせん断応力を生じる。そこで、ニュートンの粘性の式と水晶振動子の振動の式とから、液体の粘性による周波数変化量を表す次式が導かれる。

【数3】

$$df = -f_0^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{\eta \rho_L}{\pi \mu \rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

ただし、 df は圧電振動片の共振周波数の変化量、 f_0 は圧電振動片の共振周波数の初期値、 η は液体の粘度、 ρ_L は液体の密度、 μ は圧電材料の弾性率である。上式において、液体の粘度 η または液体の密度 ρ_L のいずれか一方を一定とす

れば、いずれか他方と共振周波数の変化量とが一対一に対応する。したがって、共振周波数の変化量を測定することにより、液体の粘度変化または液体の密度変化を求めることができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図 1】 第1実施形態に係る圧電振動子用発振回路のブロック図である。
- 【図 2】 実施形態の移相回路を構成する進相回路の一例を示す図である。
- 【図 3】 実施形態の移相回路を構成する遅相回路の一例を示す図である。
- 【図 4】 実施形態の移相回路を構成する共振回路の一例を示す図である。
- 【図 5】 実施形態の移相回路を構成するリアクタンス制御回路の一例を示す図である。
- 【図 6】 第2実施形態に係る圧電振動子用発振回路のブロック図である。
- 【図 7】 第2実施形態の具体例を示す回路図である。
- 【図 8】 帰還回路の移相回路により位相を変化させた状態を示す図である。
- 【図 9】 帰還回路の移相回路により位相を変化させたときの利得の変化を示す図である。
- 【図 10】 増幅回路の移相回路により位相を変化させた状態を示す図である。
- 【図 11】 タンク回路の共振周波数と利得との関係を示す図である。
- 【図 12】 実施形態に係る発振回路の調整方法のフローチャートである。
- 【図 13】 発振回路における位相変化の測定結果の一例を示す図である。
- 【図 14】 第3実施形態に係る発振回路のブロック図である。
- 【図 15】 第4実施形態に係る発振回路のブロック図である。
- 【図 16】 第4実施形態の具体例を示す回路図である。
- 【図 17】 実施の形態に係る質量測定装置の断面図である。
- 【図 18】 質量測定装置の使用状態の一例を示す図である。
- 【図 19】 圧電振動子の空气中と液体中とでのインピーダンスの変化を示す図である。
- 【図 20】 圧電振動子の空气中と液体中とでの位相の変化を示す図である

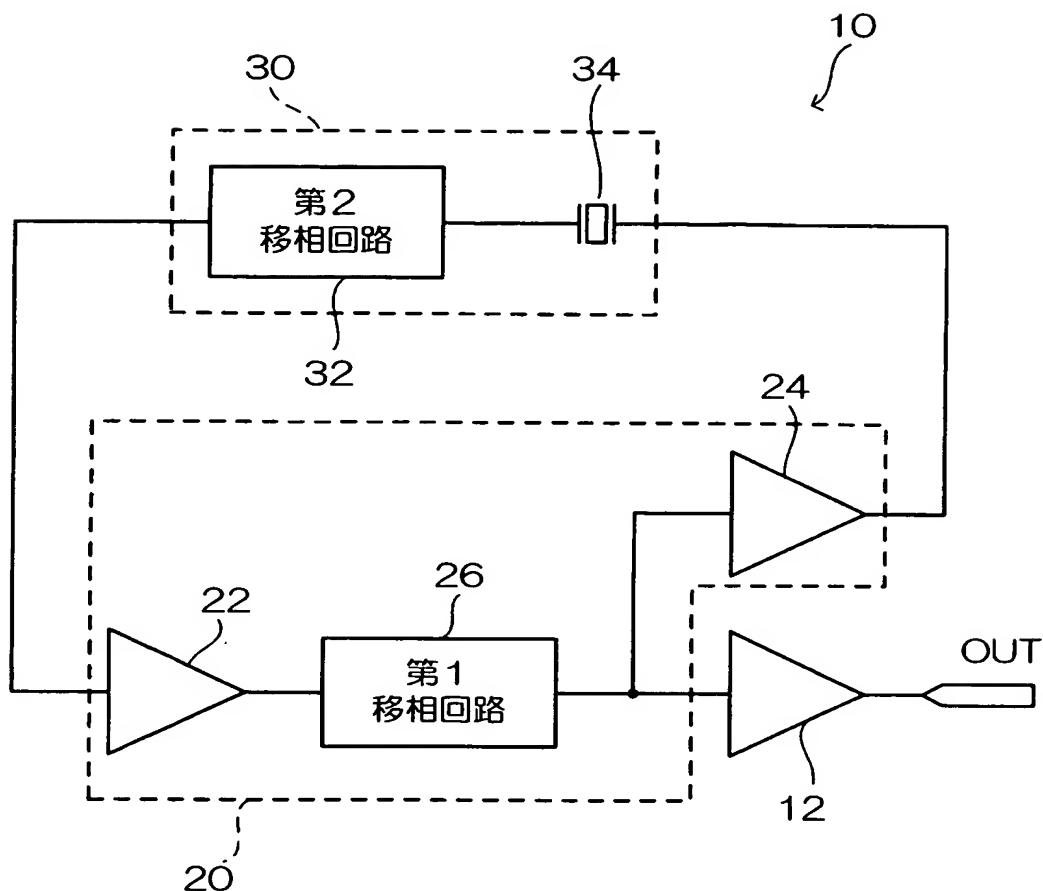
- 【図21】 発振回路の回路構成ブロック図である。
- 【図22】 実施形態に係る第1移相回路の構成例の説明図である。
- 【図23】 リアクタンス制御回路を用いた実施形態の説明図である。
- 【図24】 調整後における空気中と液体中との発振状態を示す図である。
- 【図25】 液体中における特性変化に対応する発振回路の説明図である。

【符号の説明】

10、50、120、130…………発振回路、20…………增幅回路、22、24
、132、134…………増幅器、26…………第1移相回路、30…………帰還回路
、32、52…………第2移相回路、34…………圧電振動子、54…………移相回路
部、56…………タンク回路、150…………質量測定装置、160…………圧電振動
子（圧電振動片）、170…………回路パターン部、174…………ICチップ。

【書類名】 図面

【図1】



10：発振回路

30：帰還回路

20：增幅回路

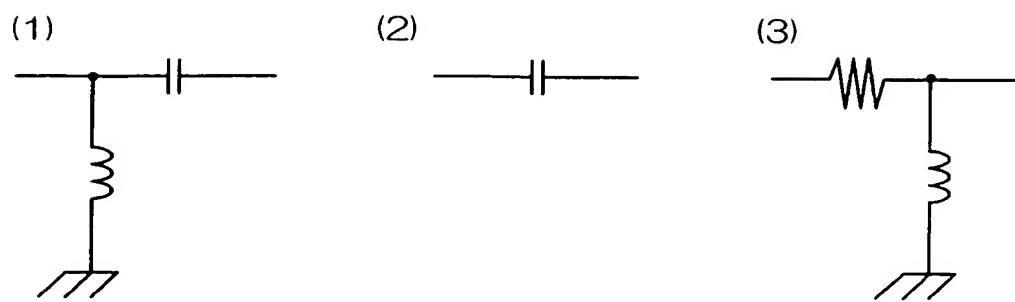
32：第2移相回路

22, 24：増幅器

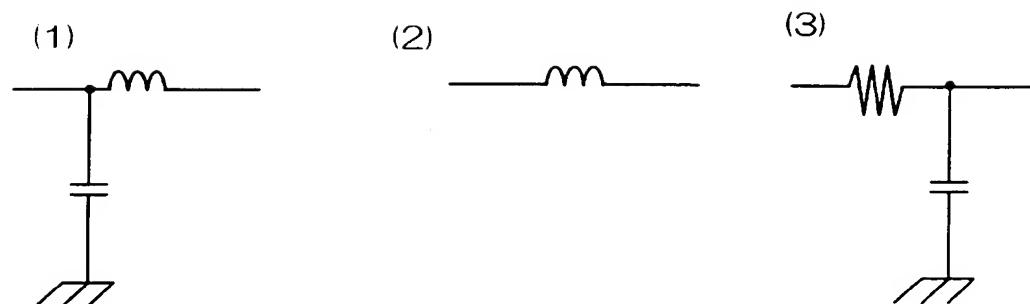
34：圧電振動子

26：第1移相回路

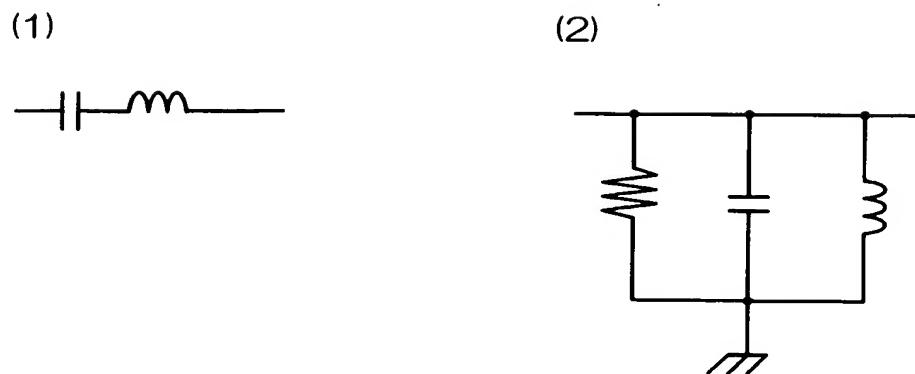
【図2】



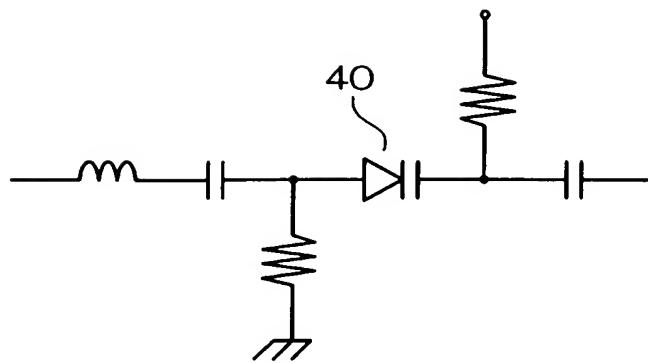
【図3】



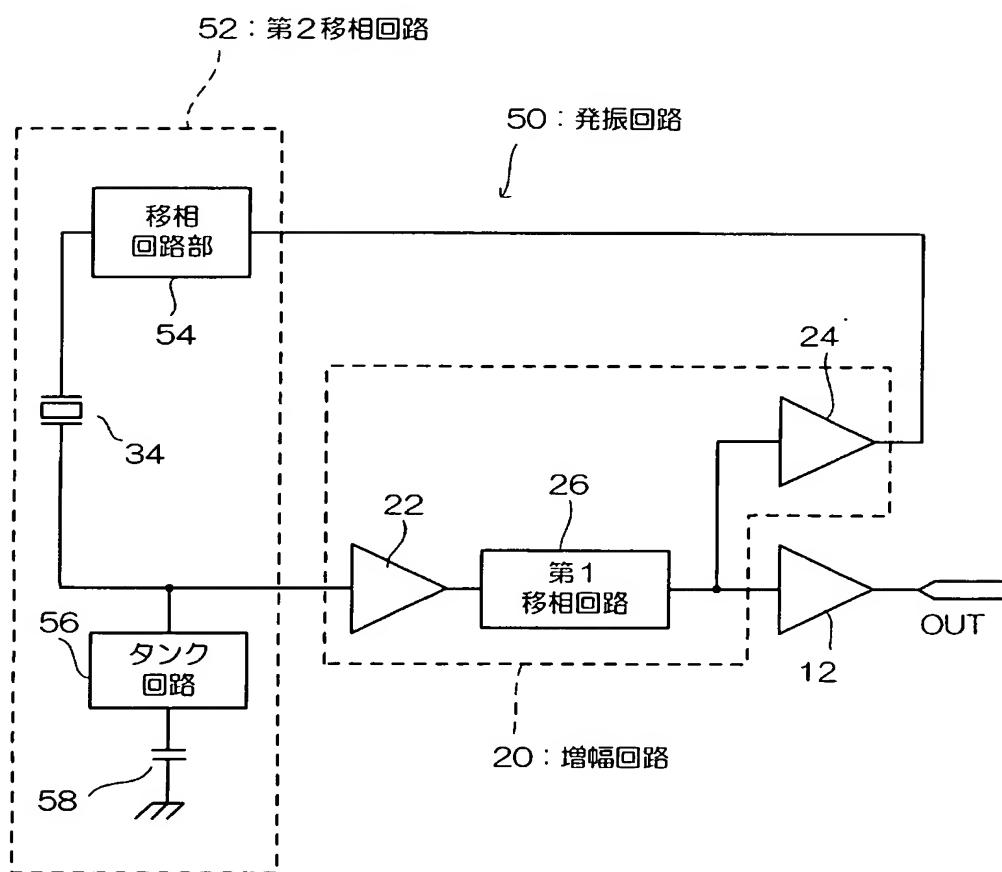
【図4】



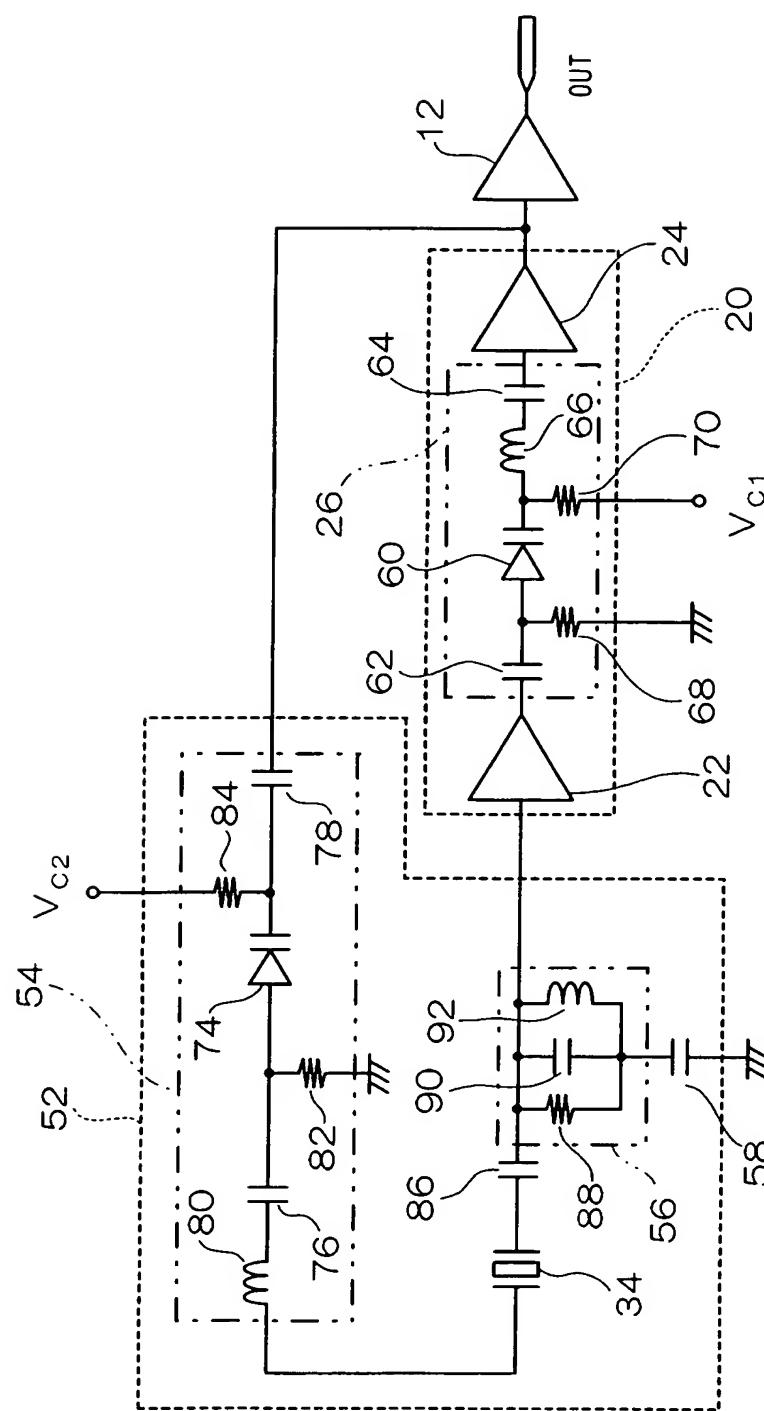
【図5】



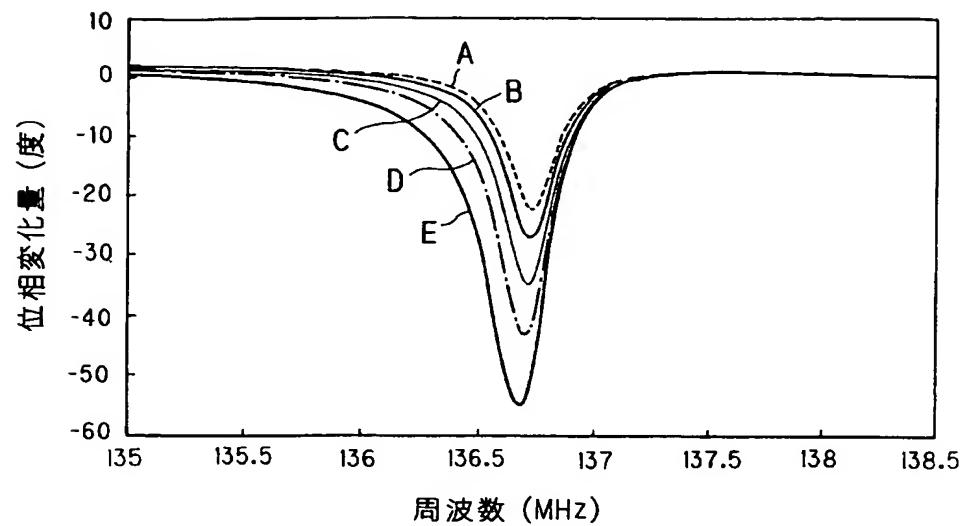
【図6】



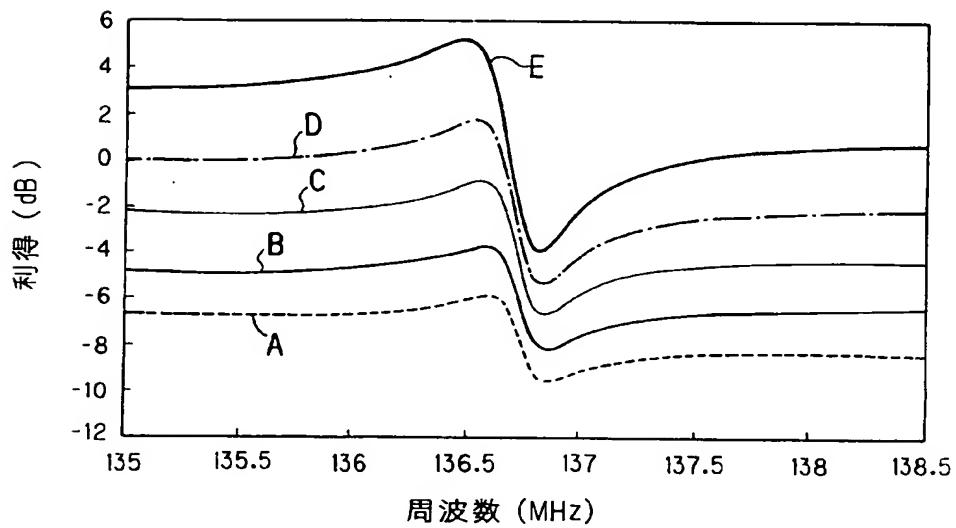
【図 7】



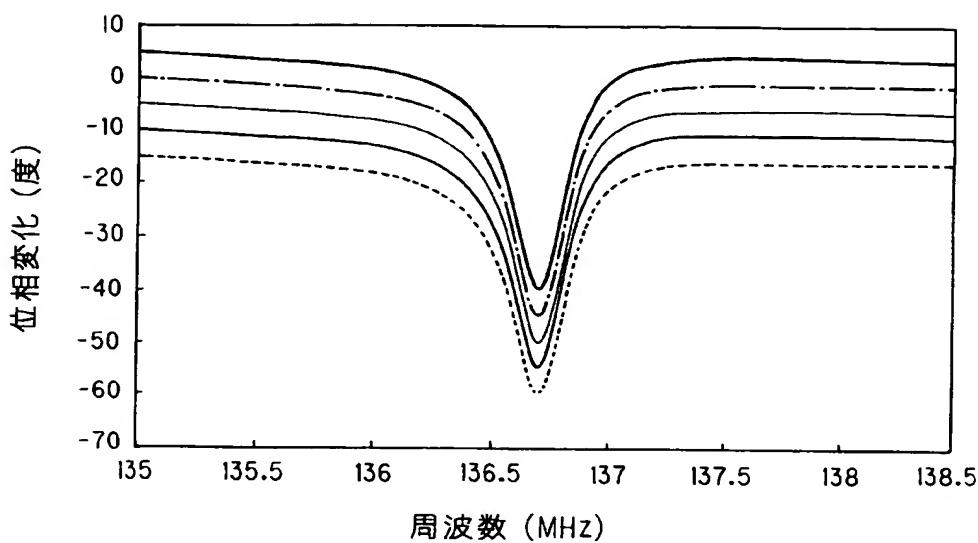
【図8】



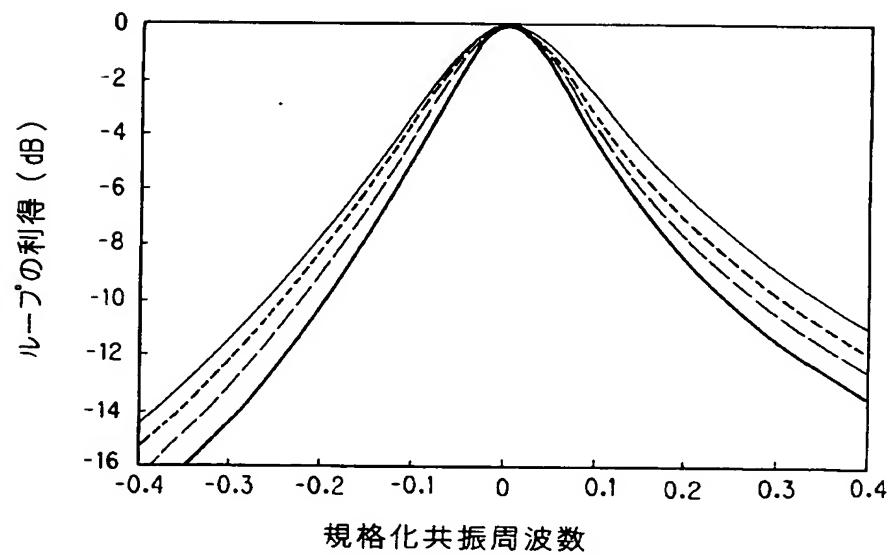
【図9】



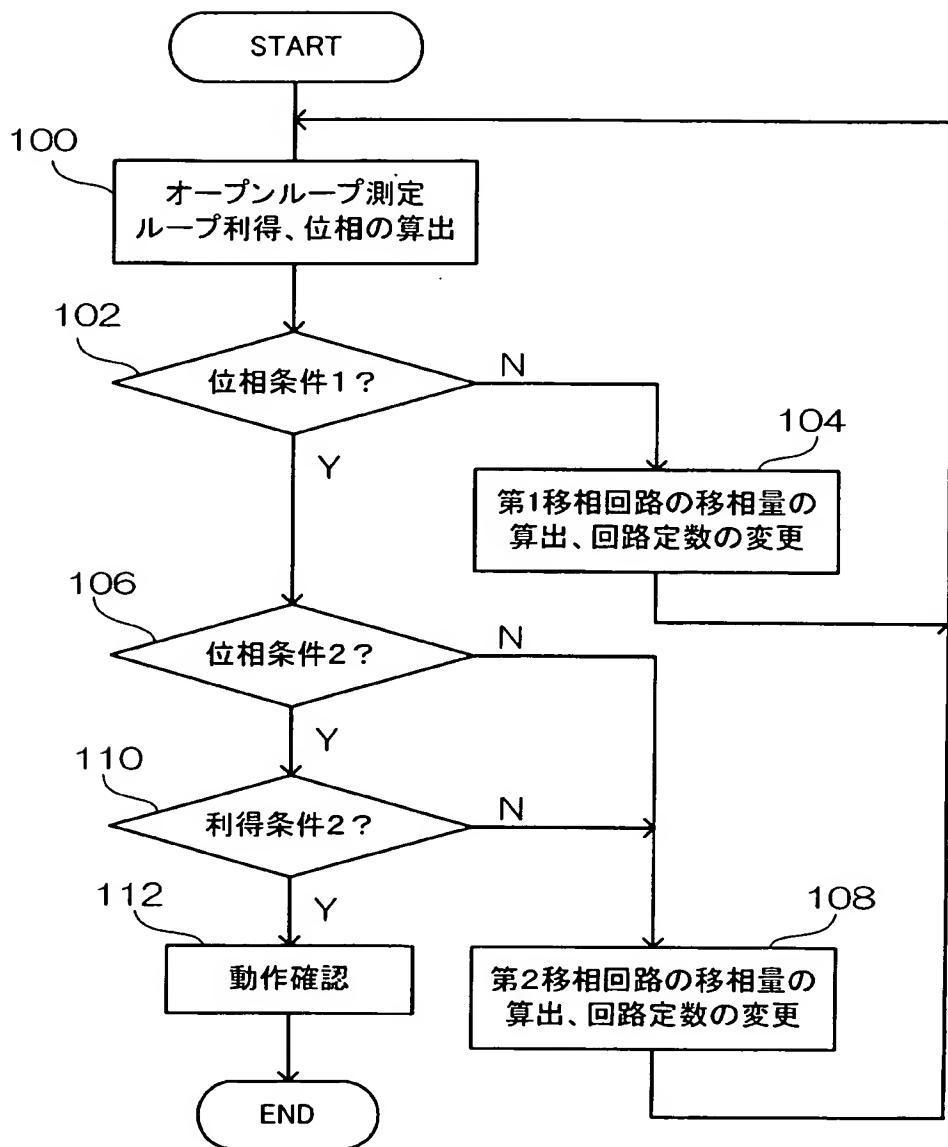
【図10】



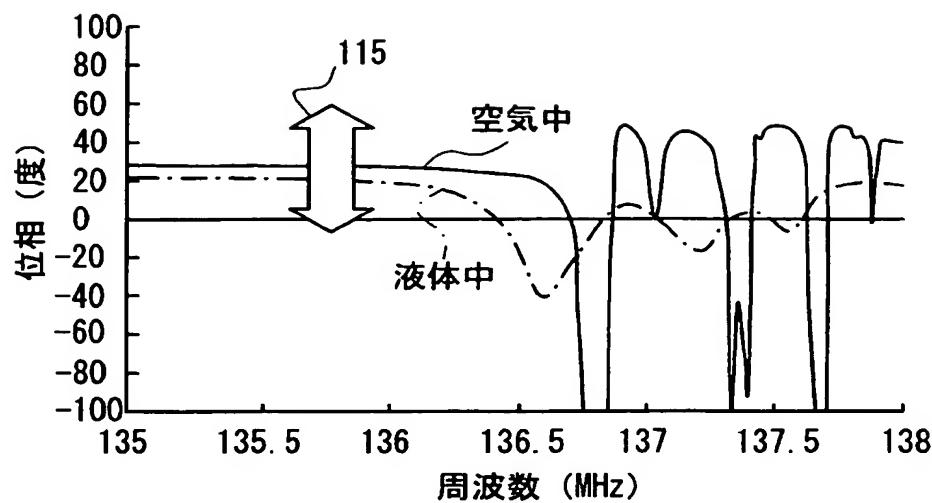
【図11】



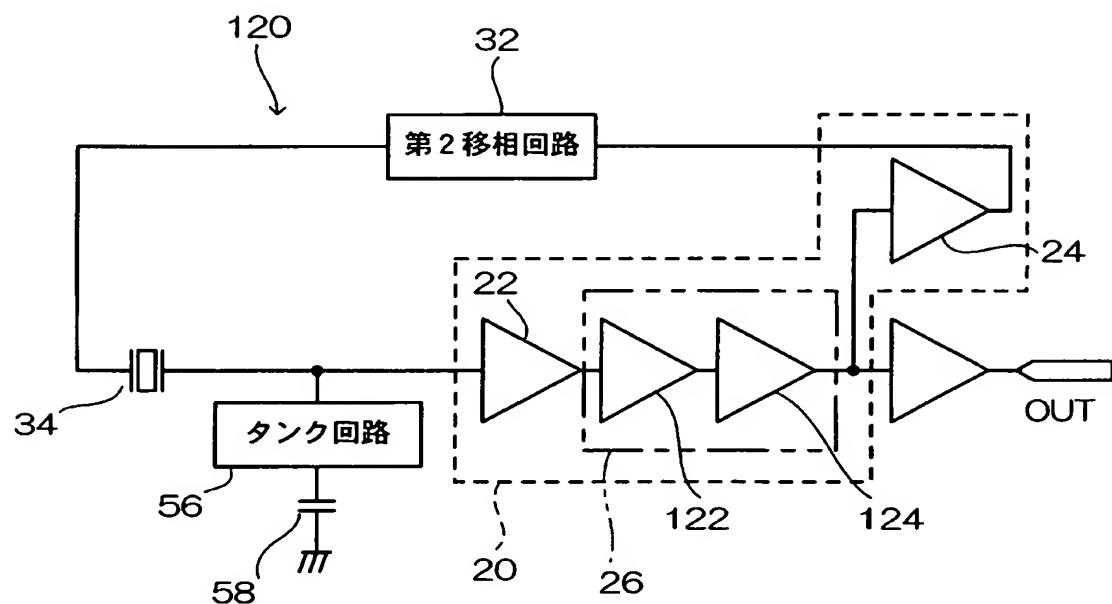
【図12】



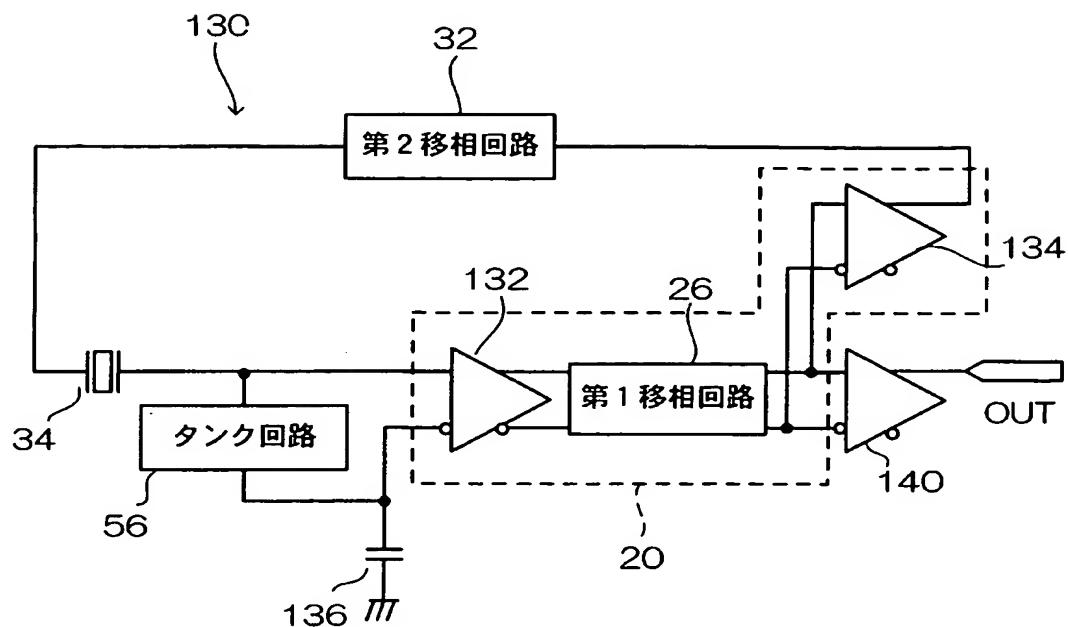
【図13】



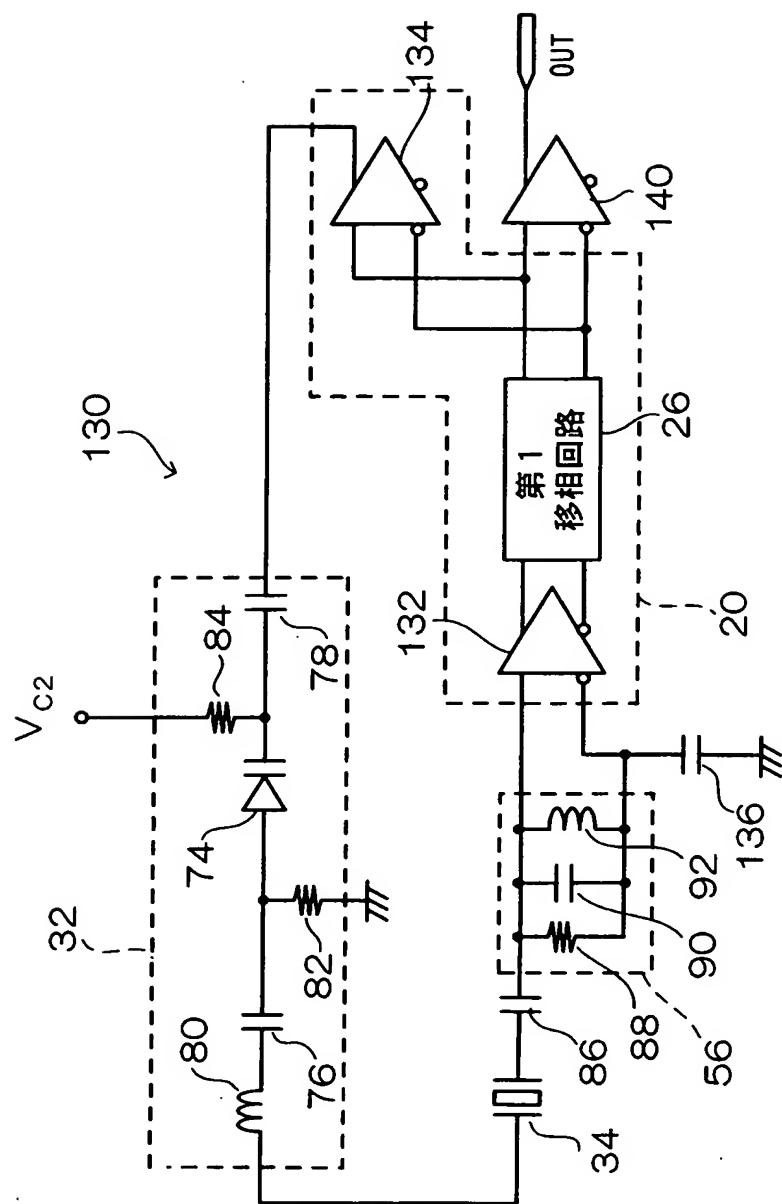
【図14】



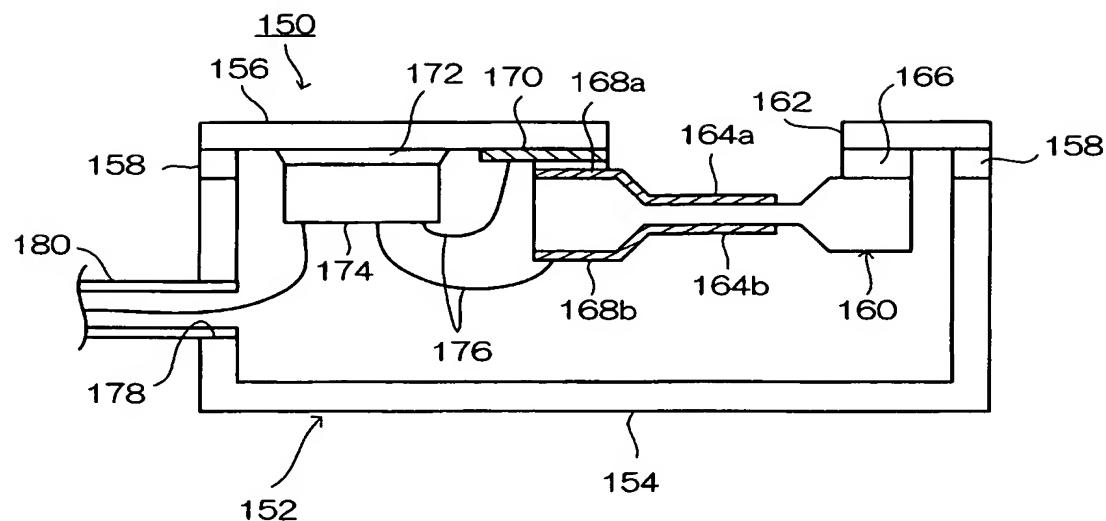
【図15】



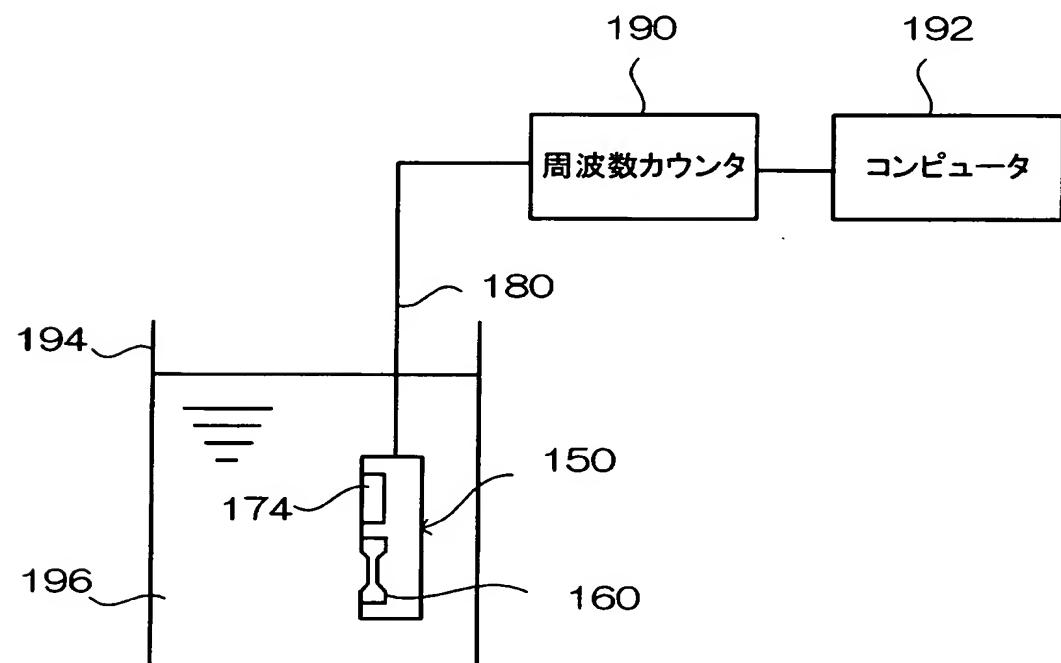
【図16】



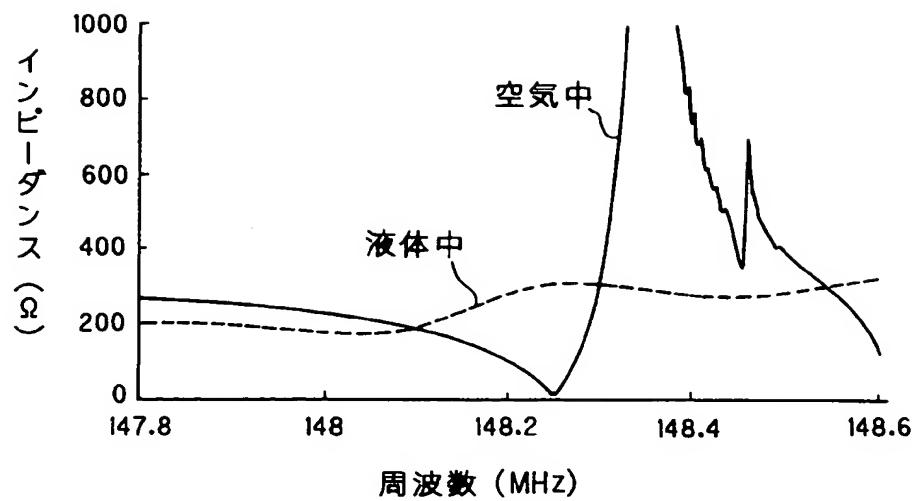
【図17】



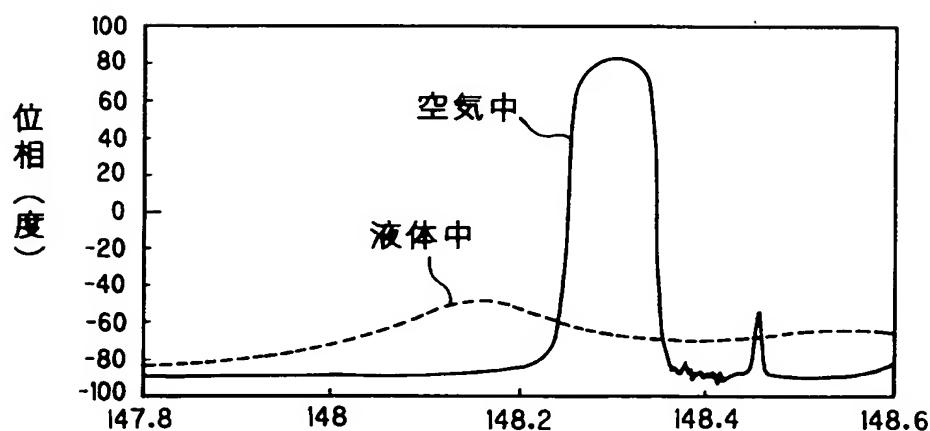
【図18】



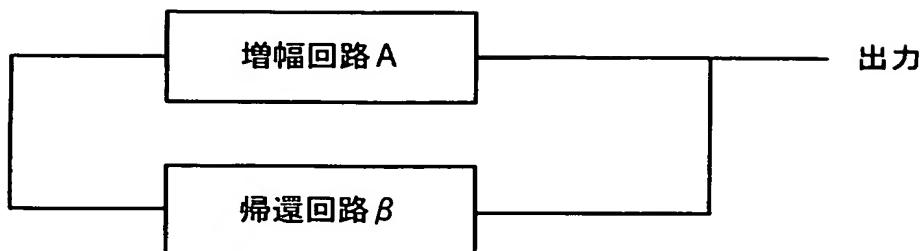
【図19】



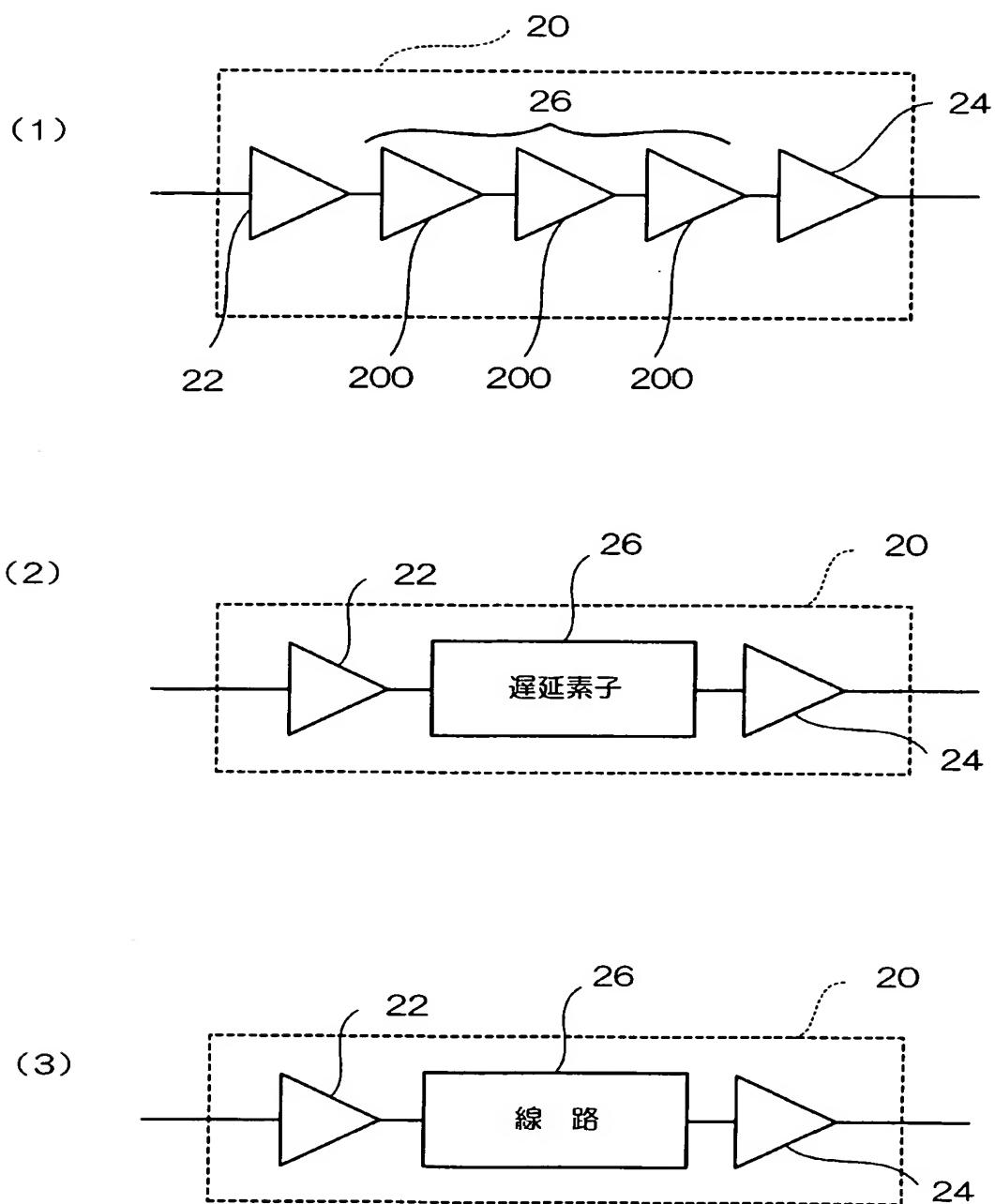
【図20】



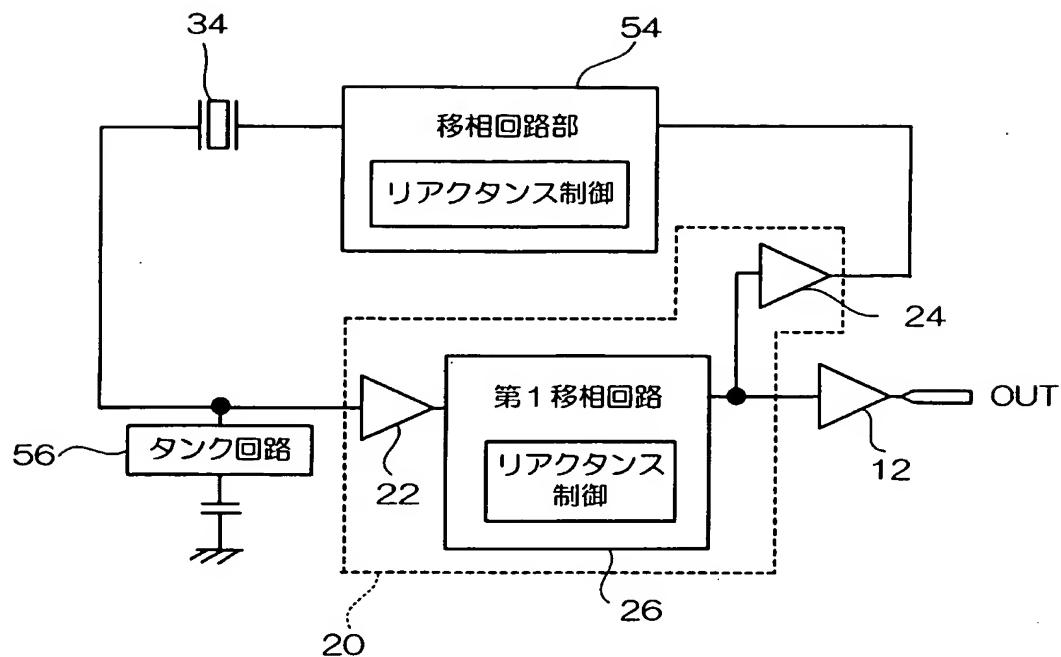
【図21】



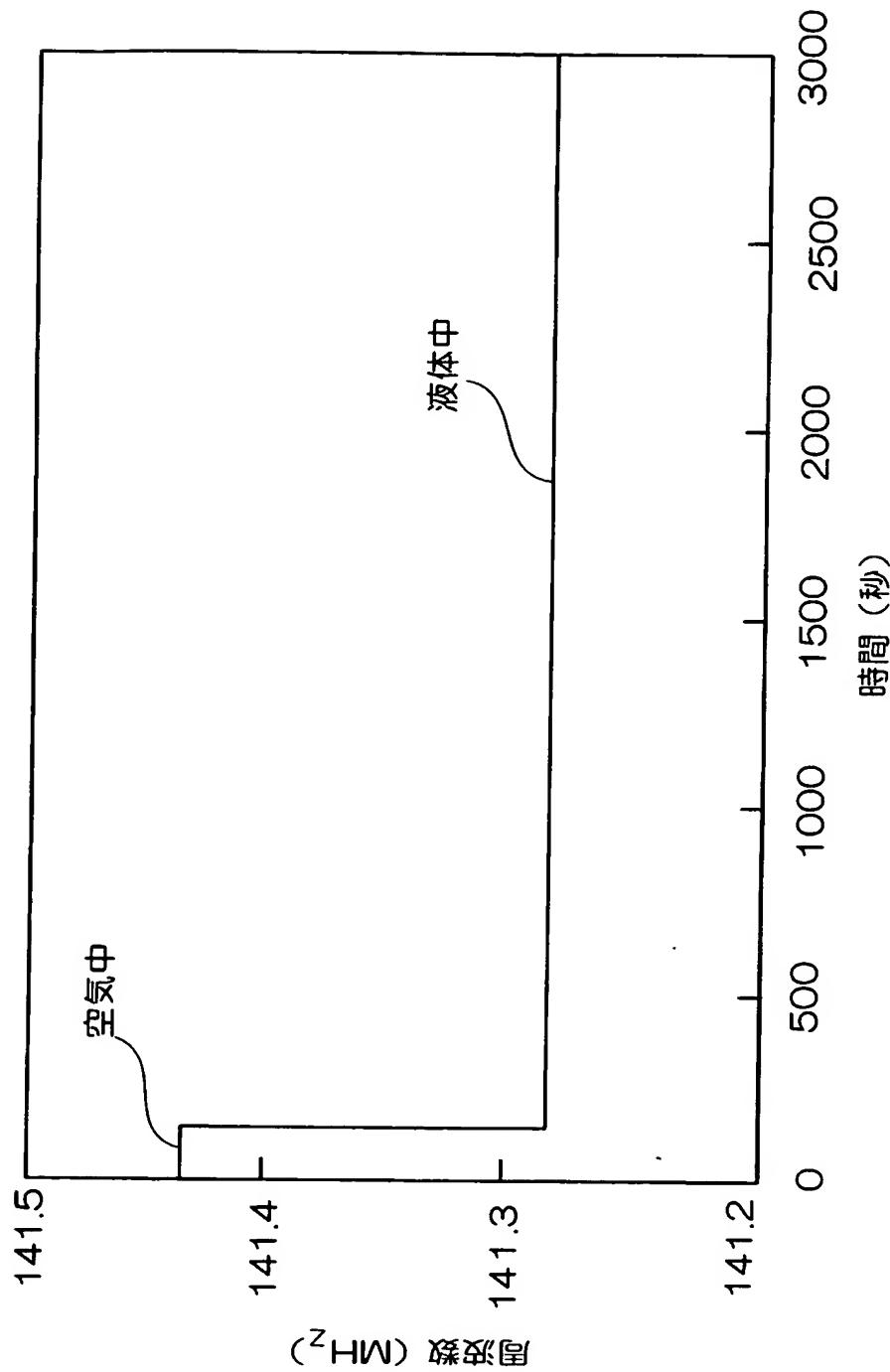
【図22】



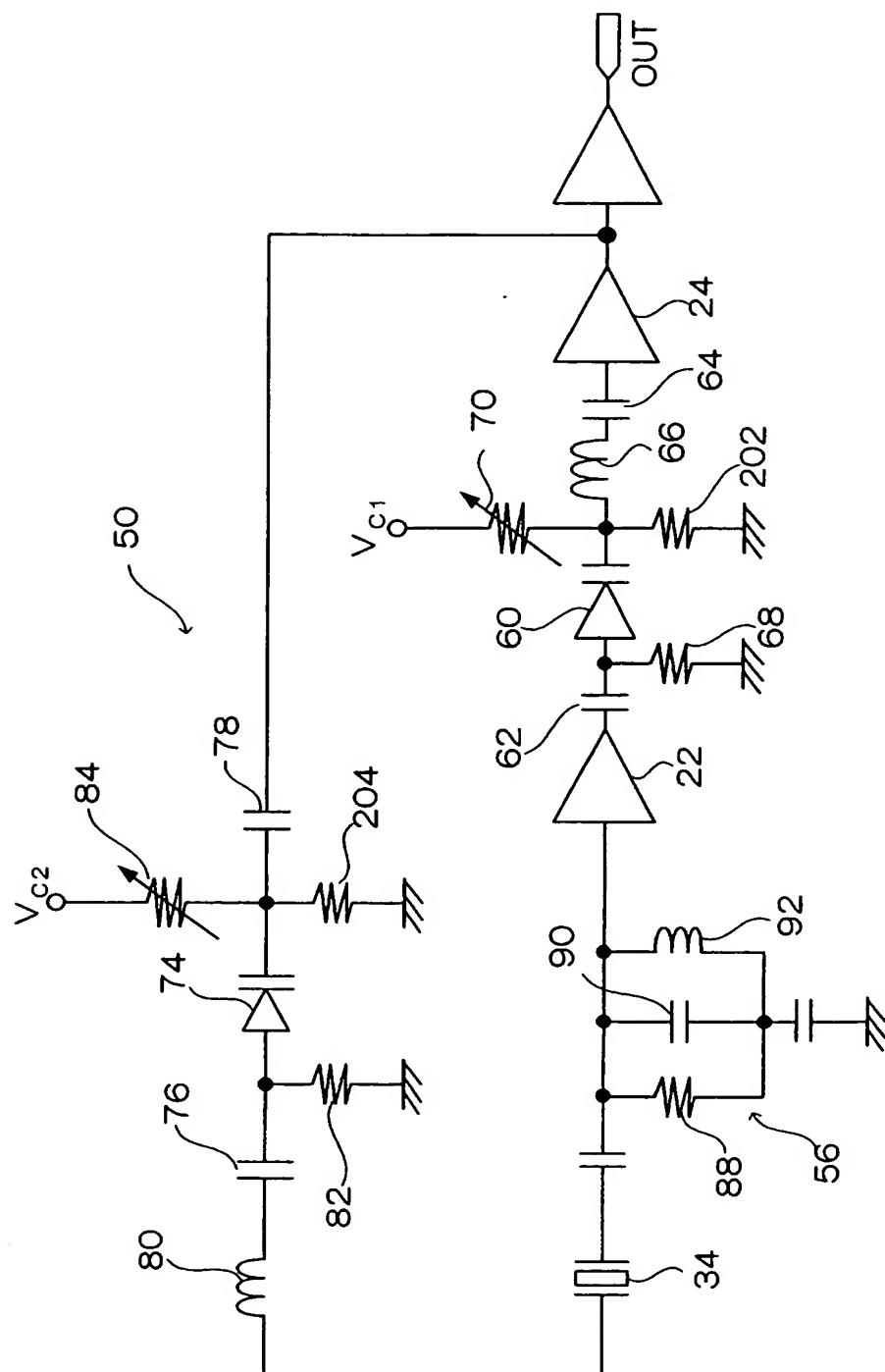
【図23】



【図24】



【図25】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 気体中と液体中とで確実に発振できるようにする。

【解決手段】 発振回路10は、增幅回路20と帰還回路30とによって閉ループが形成してある。增幅回路20は、インピーダンスのバッファを兼ねた一対の増幅器22、24と第1移相回路26とからなっている。帰還回路30は、第2移相回路32と圧電振動子34とから構成してある。第2移相回路32は、帰還回路30の位相と利得とを調整可能である。増幅回路20の第1移相回路26は、増幅回路22、24の間に設けられて第2移相回路32とインピーダンス的に分離され、閉ループ全体の位相が調整可能となっている。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号 特願2003-072363
受付番号 50300433709
書類名 特許願
担当官 第七担当上席 0096
作成日 平成15年 3月18日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成15年 3月17日

次頁無

出証特2004-3011098

特願 2003-072363

出願人履歴情報

識別番号 [000002369]

1. 変更年月日 1990年 8月20日

[変更理由] 新規登録

住所 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
氏名 セイコーエプソン株式会社